УДК 351.861

ОСОБЛИВОСТІ ПІДТРИМАННЯ УХВАЛЕННЯ АНТИКРИЗОВИХ РІШЕНЬ В УМОВАХ ВИНИКНЕННЯ ГЕОФІЗИЧНИХ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

https://doi.org/10.33269/nvcz.2022.2.65-79

Агазаде Т. Х.[1], ORCID iD 0000-0002-0165-1118
Тютюник В. В.[2]*, ORCID iD 0000-0001-5394-6367
Чорногор Л. Ф.[3], ORCID iD 0000-0001-5777-2392
Тютюник О. О.[4], ORCID iD 0000-0002-3330-8920
*E-mail: tutunik_v@ukr.net

[1]*Державна Протипожежна Служба МНС Азербайджану*
[2]*Національний університет цивільного захисту України, Україна*
[3]*Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Україна*
[4] *Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, Україна*

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ
Надійшла до редакції: 12.09.2022
Пройшла рецензування: 10.10.2022

КЛЮЧОВІ СЛОВА:
геофізична надзвичайна ситуація, ймовірність виникнення землетрусу, підтримання ухвалення антикризових рішень, ситуаційний центр, система цивільного захисту, виконання задач за призначенням, мінімізація наслідків

АНОТАЦІЯ
Розроблено ймовірнісну математичну модель оцінки можливості виникнення землетрусів магнітудою ≥ 5 на окремих сейсмічно активних територіях Земної кулі залежно від її рівня сейсмічної активності. Розроблена модель базується на уявленнях про динаміку фізичних процесів, які відбуваються в системі нелінійних енергетичних взаємодій Сонце – Земля – Місяць та впливають на рівень сейсмічної активності окремої сейсмічно активної території Земної кулі. Як вхідні дані щодо визначеності параметрів розподілу Парето використані результати спостережень Головного центру спеціального контролю Державного космічного агентства України за рівнем сейсмічної активності Земної кулі за період 2009–2021 рр. Результати моделювання лягли в основу удосконалення функціонування ситуаційних центрів щодо процедури підтримання ухвалення антикризових рішень на виконання структурними підрозділами системи цивільного захисту задач за призначенням, які спрямовані на мінімізацію наслідків геофізичних надзвичайних ситуацій. Інформаційно-технічна реалізація розробленої математичної моделі в інтересах удосконалення процедури підтримання ухвалення антикризових рішень передбачає комплексне виконання в системі єдиного часу таких п'яти функцій: 1) безперервний глобальний моніторинг рівня сейсмічної активності Земної кулі; 2) безперервний моніторинг сейсмічної активності окремої території Земної кулі; 3) оцінка (за результатами моніторингових спостережень) ймовірностей виникнення землетрусів на окремих сейсмічно активних територіях Земної кулі залежно від рівня її сейсмічної активності; 4) реалізація на окремій сейсмічно активній території Земної кулі (за результатами оцінки ймовірності виникнення на цій території землетрусу) режиму підвищеної готовності системи цивільного захисту; 5) реалізація на окремій сейсмічно активній території Земної кулі (за результатами безперервного моніторингу її сейсмічної активності) режиму «Геофізична надзвичайна ситуація».

Постановка проблеми. З огляду на широкий спектр проблем сьогодення, що виникають під час небезпечних для території Земної кулі геофізичних надзвичайних ситуацій (далі – НС) та призводять до порушень нормальних умов життєдіяльності суспільства, пов'язаних зі значними соціально-економічними наслідками, є нагальна потреба у розробленні ефективних заходів

оптимального управління процесами своєчасного виявлення потенційних джерел небезпеки і мінімізації наслідків від землетрусів [1–6].

Перспективним напрямом розроблення таких заходів є створення геоінформаційної системи безпеки території та населення держави від геофізичних НС, функції якої реалізовано за принципом класичного контуру управління та схематично наведено на рис. 1 [7].

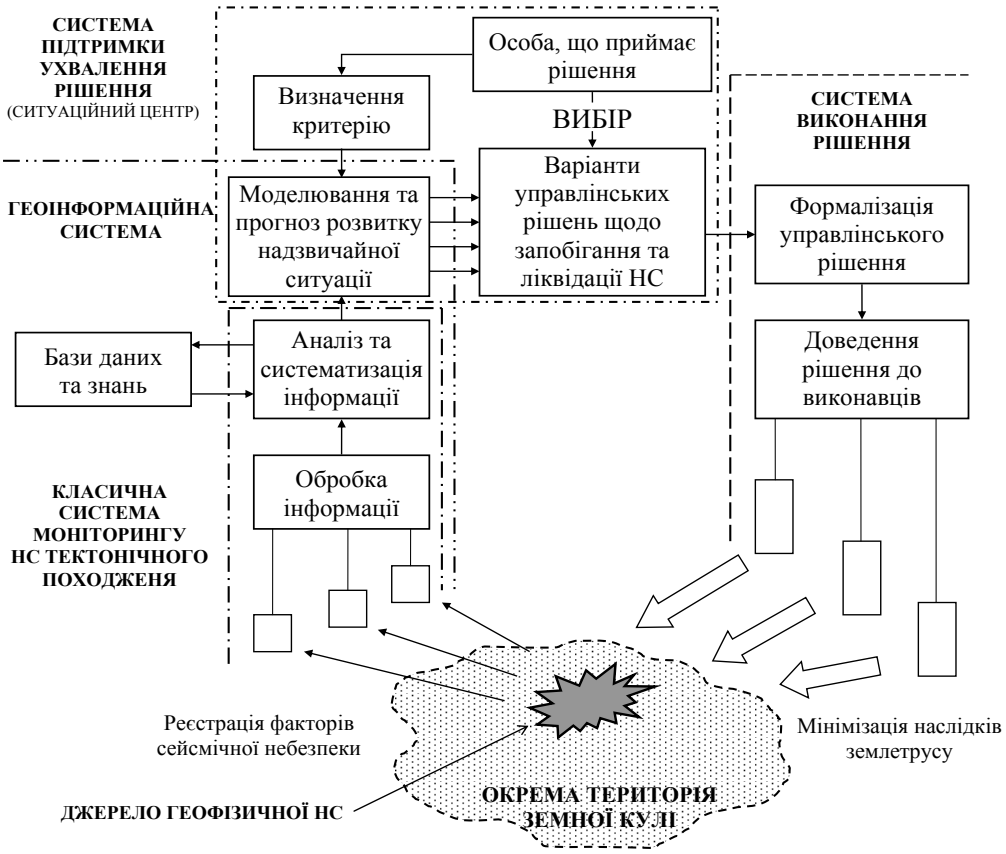

Рисунок 1 – Схема структури геоінформаційної системи безпеки від геофізичних надзвичайних ситуацій як засобу управління

Джерело: [7].

Згідно з рис. 1 ефективність функціонування геоінформаційної системи безпеки від геофізичних НС здебільшого залежить від роботи системи підтримання ухвалення антикризових рішень, яка базується на синтезі інформаційно-комунікаційних технологій, засобів накопичення та представлення інформації, комп'ютерних засобів підтримання ухвалення рішень. Зазначена система може являти собою ситуаційний центр, під яким розуміється сукупність методів, алгоритмів, моделей ухвалення управлінських рішень і комплексу технологій як підтримувальних, так і тих, що реалізують ці рішення [8–11]. Розроблення таких підходів до ухвалення ефективних антикризових рішень щодо реалізації структурними підрозділами системи цивільного захисту завчасних дій за призначенням, які спрямовані на мінімізацію наслідків геофізичних НС, є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Результати проведеного аналізу різних джерел даних, зокрема інформаційних інтернет-ресурсів [12–26], свідчать про те, що сучасні системи безпеки під час геофізичних НС функціонують за принципом побудови (згідно з даними рис. 1) геоінформаційних систем сейсмічного моніторингу території

Земної кулі в глобальному та національному масштабах, без надання структурним підрозділам системи цивільного захисту прогностичної інформації для завчасної підготовки їх до ефективного виконання задач за призначенням щодо мінімізації наслідків геофізичних НС.

З огляду на зазначене одним із перспективних напрямів розвитку систем безпеки під час геофізичних НС є розвиток наукових основ створення комплексної системи безпеки, де реалізуються підходи щодо взаємодії між функціями моніторингу, підтримання ухвалення антикризових рішень та їх виконання. Ефективність функціонування такої системи безпеки залежить від роботи системи підтримання ухвалення антикризових рішень, особливістю реалізації якої є створення ситуаційних центрів [8–10; 27]. Водночас ефективне функціонування ситуаційних центрів як сполучної ланки між системою моніторингу НС та системою цивільного захисту потребує розроблення адекватних прогностичних моделей для підтримання ухвалення антикризових рішень під час виникнення НС.

На сьогодні підґрунтям прогностичних сейсмічних спостережень є знання фізичних законів механізму землетрусів і контроль стану фізичних полів у сейсмоактивній зоні [28–29]. Також спостерігається розвиток на базі інформаційних технологій статистико-ймовірнісних підходів щодо прогнозування землетрусів, а саме – в [30] наведені результати дослідження прогнозування землетрусів у північно-західному районі В'єтнаму за допомогою нейромережевих технологій. Водночас результати аналізу статистичних даних рідкісних руйнівних НС вказують на те, що ці події значно залежать від степеневого закону розподілу ймовірності. Так, у [31–32] наведені результати використання закону Ріхтера-Гутенберга для оцінки кількості землетрусів від їх енергії. Подібний підхід також використовується для прогнозу інтенсивності виникнення різних НС природного й техногенного характеру та оцінки рівня соціального збитку під час виникнення НС [33–36].

Одним із перспективних напрямів розвитку цього підходу стосовно прогнозування землетрусів є дослідження характеру поведінки функції розподілу землетрусів в області рідкісних руйнівних землетрусів на основі використання положень теорії екстремальних значень та в межах моделі мультиплікативного каскаду [37]. Отже, розроблення математичної моделі функціонування ситуаційного центру щодо оцінки ймовірності виникнення землетрусів із магнітудою ≥ 5 на окремій сейсмічно активній території Земної кулі (як елементу каскадного розвитку сейсмічної активності Земної кулі) та ухвалення ефективних антикризових рішень щодо реалізації структурними підрозділами системи цивільного захисту завчасних дій за призначенням, які спрямовані на мінімізацію наслідків від геофізичних НС, і визначають напрям наших наукових досліджень у галузі цивільного захисту.

Мета статті. Метою цієї роботи є удосконалення процедури підтримання ухвалення антикризових рішень щодо реалізації структурними підрозділами системи цивільного захисту завчасних дій за призначенням, які спрямовані на мінімізацію наслідків від геофізичних НС.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі завдання: 1) розробити ймовірнісну математичну модель оцінки можливості виникнення землетрусів магнітудою ≥ 5 на окремій сейсмічно активній території Земної кулі залежно від рівня її сейсмічної активності; 2) удосконалити процедуру підтримання ухвалення антикризових рішень щодо режимів функціонування системи цивільного захисту та виконання структурними підрозділами системи цивільного захисту задач за призначенням, які спрямовані на мінімізацію наслідків геофізичних НС, залежно від результатів моніторингу та оцінки ймовірності

виникнення землетрусів на окремій сейсмічно активній території Земної кулі.

Особливості прояву залежності між сейсмічною активністю окремої території Земної кулі та рівнем її сейсмічної активності розглянемо на базі аналізу динаміки фізичних процесів, що відбуваються в енергетичній системі Сонце – Земля – Місяць. Ці процеси можна схематично показати на рис. 2–4 та охарактеризувати такими особливостями просторових будов у межах Сонячної системи [38–40].

1. Вісь обертання Землі в небесній сфері описує складну хвилеподібну траєкторію, точки якої розташовані на кутовій відстані, в середньому близько $23{,}5^0$ від полюса екліптики (рис. 2). Вершина конуса збігається з центром Землі. Точки рівнодення та сонцестояння рухаються по екліптиці назустріч Сонцю. Моменти сил тяжіння, які діють на екваторіальні здуття, змінюються залежно від положень Місяця та Сонця щодо Землі. Якщо Місяць і Сонце перебувають в площині земного екватора, моменти сил зникають, а якщо схилення Місяця та Сонця максимальні, то і величина моменту сил найбільша. Внаслідок коливань моментів сил тяжіння спостерігаються нутації осі обертання Землі, які складаються з ряду невеликих періодичних коливань. Основне з них має період 18,6 року – час звернення вузлів орбіти Місяця. Рух із цим періодом відбувається по еліпсу. Велика вісь еліпса перпендикулярна напрямку прецесійного руху і дорівнює 18,4″; мала – паралельна йому і дорівнює 13,7″. Далі за величиною амплітуди йдуть складові з періодом 0,5 року, 13,7 діб, 9,3 року, 1 рік, 27,6 діб тощо, тому траєкторія має вигляд «тонких мережив» (наведено на збільшеному фрагменті в лівій частині рис. 2).

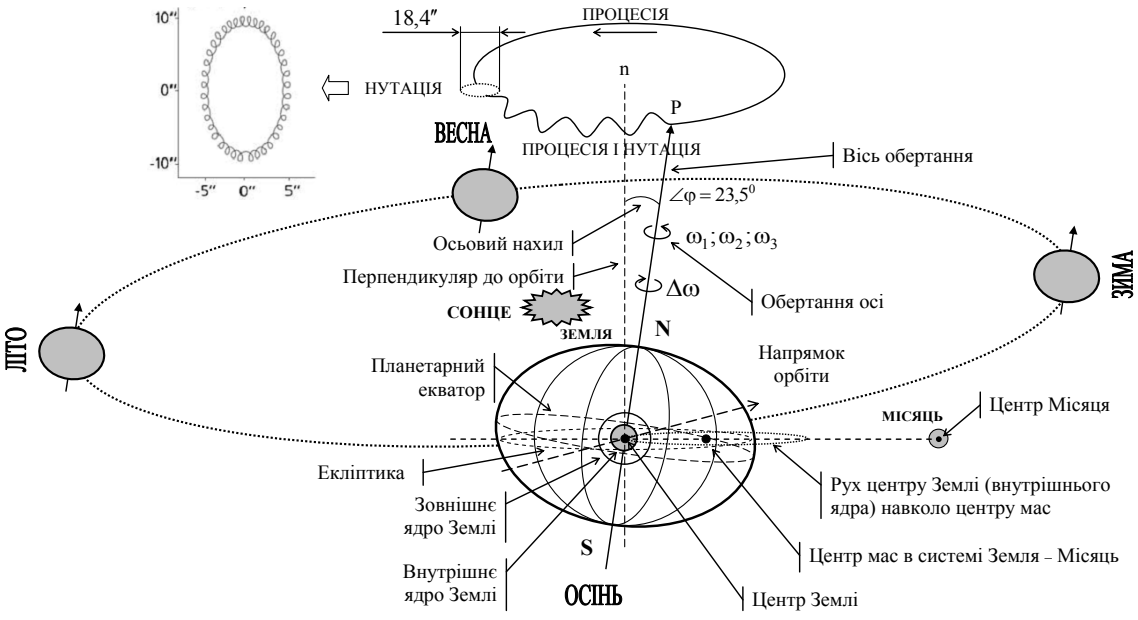

Рисунок 2 – Схема руху внутрішнього ядра Землі в системі нелінійних енергетичних взаємодій Сонце – Земля – Місяць

2. Унаслідок ексцентричного обертання оболонки Землі навколо зміщеного внутрішнього ядра виникає тиск з боку твердого внутрішнього ядра та навколишнього розплаву (зовнішнього ядра) на мантію, яке видавлює оболонку зсередини. В інших частинах планети виникають сили, що стискають оболонку кулі, втягуючи її всередину до ядра. Зазначений процес має дві складові: вплив унаслідок річного переміщення центра внутрішнього ядра щодо центра Земної

кулі (рис. 2–4); вплив унаслідок ексцентричного обертання ядра щодо нижньої мантії, коли через різниці в кутових швидкостях обертань ядра та нижньої мантії (ω_1 – кутова швидкість обертання мантії; ω_2 – кутова швидкість обертання зовнішнього ядра; ω_3 – кутова швидкість обертання внутрішнього ядра; $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$ – кутова швидкість повороту зовнішнього ядра щодо мантії («західний дрейф»)) спостерігаються зони підвищеного тиску та розрядження ($P_1 \neq P_2$, де P_1 та P_2 – показники тиску внутрішнього ядра Земної кулі на її поверхню), які впливають на рівень сейсмічної активності поверхні Земної кулі (рис. 3). Існування таких зон буде підтримуватися доти, доки є різниця в кутових швидкостях обертання та зміщення ядра.

3. У процесі переміщення літосферних плит (рис. 4) виникають внутрішні пружні напруги, які є енергетичними джерелами землетрусів Z_0. Глибина виникнення пружних напружень залежить від характеру переміщення плит. Відносний рух літосферних плит призводить до виникнення неглибоких (не глибше 20–25 км) джерел землетрусів, а занурення літосферних плит у мантію провокує появу джерел глибоких (що перевищують 70 км) землетрусів. Зі збільшенням відстані від кордону поділу літосферних плит знижується ймовірність виникнення пружних напружень – джерел землетрусів.

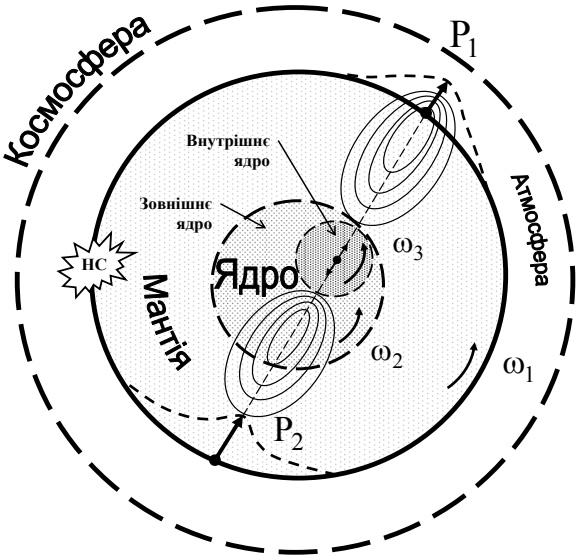

Рисунок 3 – Схема впливу коливань внутрішнього ядра на сейсмічну активність

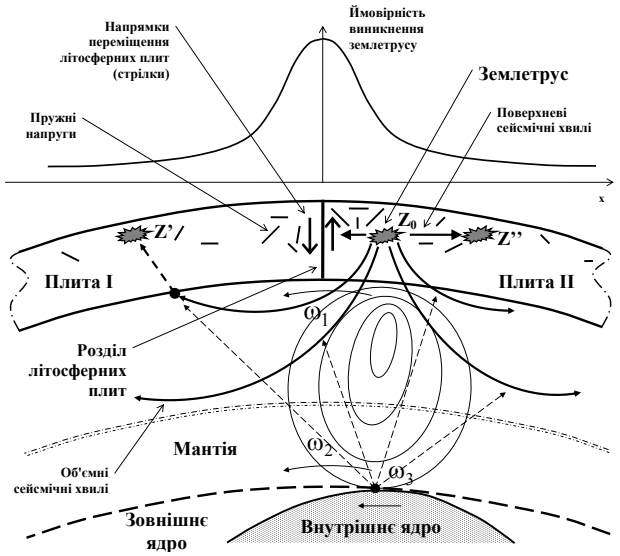

Рисунок 4 – Схема процесу виникнення землетрусів і поширення сейсмічної активності

5. У процесі просторово-коливального переміщення внутрішнього ядра Землі та його впливу на зовнішнє ядро підвищується ймовірність взаємного посилення або ослаблення об'ємних сейсмічних хвиль, а отже й можливість виникнення вторинних землетрусів Z'.

6. Не виключена можливість впливу поверхневих і об'ємних сейсмічних хвиль на напруженості в літосфері, що виникли поблизу землетрусу та провокують виникнення ланцюгової реакції поширення сейсмічної небезпеки Z''.

7. Встановлено, що внаслідок руху внутрішнього ядра Землі відбуваються територіально-часові зміни інтенсивності природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПІЕМПЗ), що провокують аномальні процеси в атмосфері, іоносфері та магнітосфері.

Згідно з даними рис. 2–4 енергетична система Сонце – Земля – Місяць є складною. З огляду на це процес виникнення сейсмічної активності на Земній кулі в такій складній системі можна описати степеневими законами розподілу ймовірностей. Розподілом серед степеневих законів розподілу ймовірностей, що має велике практичне значення у разі прогнозу інтенсивності виникнення НС природного та техногенного характеру, є розподіл Парето [36], який задається щільністю ймовірностей

$$\rho(x)=\frac{\alpha}{\theta}\left(\frac{\theta}{x}\right)^{\alpha+1} \qquad (1)$$

та функцією розподілу

$$F_X(x)=1-\left(\frac{\theta}{x}\right)^{\alpha} \qquad (2)$$

за $x>\theta$.

Розроблення ймовірнісної математичної моделі оцінки можливості виникнення землетрусів магнітудою ≥ 5 на окремій сейсмічно активній території Земної кулі залежно від рівня її сейсмічної активності базувалося на визначеності параметрів розподілу Парето за результатами спостережень за рівнем сейсмічної активності Земної кулі, які наведені ГЦСК ДКА України [24], за період 2009–2021 рр. У математичній постановці ця задача має таке формулювання: отримано вибірку $x_1,...,x_n$ щодо кількостей виникнення землетрусів на Земній кулі в інтервалах між землетрусами на окремій сейсмічно активній території Земної кулі. Необхідно визначити або з достовірною точністю оцінити параметри α і θ.

Необхідно вказати, що в роботі достатньо визначити параметр α, оскільки параметр θ визначається як мінімальний поріг, тобто мінімальна кількість виникнення землетрусів на Земній кулі в інтервалах між землетрусами на окремій сейсмічно активній території Земної кулі.

Для оцінки параметрів розподілу за вибіркою найбільш часто використовується метод максимальної правдоподібності. У разі розподілу Парето щільність імовірності того, що елементи вибірки набудуть значення $x_1,...,x_n$, якщо параметри розподілу Парето дорівнюють α і θ, становить:

$$G(x_1,...x_n/\alpha,\theta)=\left(\frac{\alpha}{\theta}\right)^n\left(\frac{\theta^n}{x_1\cdot...\cdot x_n}\right)^{\alpha+1}. \qquad (3)$$

Звідси оцінка максимальної правдоподібності має вигляд:

$$\widehat{\alpha}=\frac{n}{\ln x_1+...+\ln x_n-n\ln\theta}, \qquad (4)$$

де $x_1,...,x_n$ – вибірка щодо кількостей виникнення землетрусів на Земній кулі в інтервалах між землетрусами на окремій сейсмічно активній території Земної кулі; n – розмір цієї вибірки.

Вираз (4) можливо представити таким чином:

$$\widehat{\alpha}=\frac{n}{\ln\left(\frac{x_1}{\theta}\right)+...+\ln\left(\frac{x_n}{\theta}\right)}. \qquad (5)$$

Моделювання щодо ймовірності виникнення землетрусу на окремій сейсмічно активній території Земної кулі проведено за результатами аналізу сейсмічної активності (за період 2009–2021 рр.) декількох окремих територій Земної кулі, з різним ступенем їх сейсмічної активності, який оцінено через проведення кластерного аналізу сейсмічно активних окремих територій Земної кулі. Результати кластеризації наведено у роботі [41]. З огляду на ці результати в роботі проведено аналіз сейсмічної активності таких трьох сейсмічно активних окремих територій планети, як: територія Японії (територія з відносно високим ступенем сейсмічної активності),

територія Азербайджану (територія з відносно середнім ступенем сейсмічної активності) та гір Вранча (територія Румунії з відносно низьким ступенем сейсмічної активності, але ця територія становить сейсмічну небезпеку для території України).

Результати моделювання ймовірності виникнення землетрусу в районі Японських островів залежно від поточного рівня сейсмічної активності Земної кулі можливо навести, як:

$$F_{Японія}(N_\Sigma)=1-\left(\frac{\theta_{Японія}}{N_\Sigma}\right)^{\widehat{\alpha}_{Японія}}=1-\left(\frac{7}{N_\Sigma}\right)^{1,07},(6)$$

де $\theta_{Японія}=7$ – мінімальна кількість виникнення землетрусів магнітудою ≥ 5 на Земній кулі в інтервалах між землетрусами, що виникли в районі Японських островів за період 2009–2021 рр.; $\widehat{\alpha}_{Японія}=1{,}07$ – оцінений параметр функції розподілу ймовірності виникнення землетрусу в районі Японських островів залежно від рівня сейсмічної активності Земної кулі; N_Σ – поточна сумарна кількість землетрусів магнітудою ≥ 5, що виникли на Земній кулі.

Результати моделювання ймовірності виникнення землетрусу на території Азербайджану залежно від поточного рівня сейсмічної активності Земної кулі можливо навести, як:

$$F_{\text{Азербайджан}}(N_\Sigma)=1-\left(\frac{\theta_{\text{Азербайджан}}}{N_\Sigma}\right)^{\widehat{\alpha}_{\text{Азербайджан}}}=1-\left(\frac{75}{N_\Sigma}\right)^{0,81}, \qquad (7)$$

де $\theta_{\text{Азербайджан}}=75$ – мінімальна кількість виникнення землетрусів магнітудою ≥ 5 на Земній кулі в інтервалах між землетрусами, що виникли на території Азербайджану за період 2009–2021 рр.; $\widehat{\alpha}_{\text{Азербайджан}}=0{,}81$ – оцінений параметр функції розподілу ймовірності виникнення землетрусу на території Азербайджану залежно від рівня сейсмічної активності Земної кулі.

Результати моделювання ймовірності виникнення землетрусу в горах Вранча залежно від рівня сейсмічної активності Земної кулі можливо навести, як:

$$F_{\text{Вранча}}(N_\Sigma)=1-\left(\frac{\theta_{\text{Вранча}}}{N_\Sigma}\right)^{\widehat{\alpha}_{\text{Вранча}}}=1-\left(\frac{200}{N_\Sigma}\right)^{1,64}, (8)$$

де $\theta_{\text{Вранча}}=200$ – мінімальна кількість виникнення землетрусів магнітудою ≥ 5 на Земній кулі в інтервалах між землетрусами, що виникли в горах Вранча за період 2009–2021 рр.; $\widehat{\alpha}_{\text{Вранча}}=1{,}64$ – оцінений параметр функції розподілу ймовірності виникнення землетрусу в горах Вранча залежно від рівня сейсмічної активності Земної кулі.

Отримані ймовірнісні моделі (вирази (7)–(8)) оцінки можливості виникнення землетрусів магнітудою ≥ 5 на окремій сейсмічно активній території Земної кулі залежно від рівня її сейсмічної активності наведені графічно на рис. 5.

Адекватність наведених на рис. 5 характеристик змін функцій розподілу ймовірностей виникнення землетрусів магнітудою ≥ 5 на окремих сейсмічно активних територіях Земної кулі залежно від рівня її сейсмічної активності залежить від результатів оцінки параметрів $\widehat{\alpha}$. Точність оцінки параметрів $\widehat{\alpha}$ своєю чергою підтверджується розміром вибірки щодо кількості виникнення землетрусів на окремій сейсмічно активній території Земної кулі.

Так, під час здійснення аналізу сейсмічної активності в районі Японських островів розмір вибірки становив близько 120 випадків землетрусів магнітудою ≥ 5. Розмір вибірки під час аналізування сейсмічної активності території Азербайджану становив близько 20 випадків землетрусів, а сейсмічної активності гір Вранча – менше 10.

Водночас розмір вибірки щодо загальної кількості землетрусів магнітудою ≥ 5 на Земній кулі за період 2009–2021 рр. становить понад 5 000 спостережень. Надалі збільшення терміну моніторингу рівня сейсмічної активності Земної кулі та окремих сейсмічно активних її територій дасть змогу збільшити розмір вибірки, а також скорегувати параметри α і θ, наведені як вирази (7)–(8) математичних моделей оцінки ймовірностей виникнення землетрусів на окремих сейсмічно активних територіях Земної кулі залежно від рівня її сейсмічної активності.

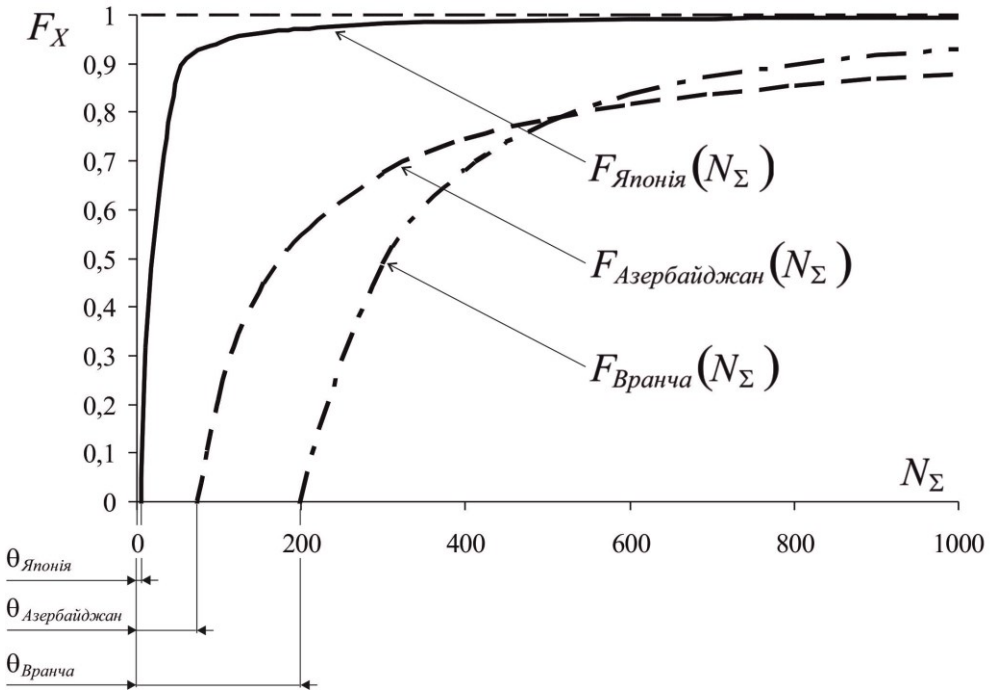

Рисунок 5 – Функції розподілу ймовірностей виникнення землетрусів на окремих сейсмічно активних територіях Земної кулі залежно від рівня її сейсмічної активності

Результати моделювання ймовірностей виникнення землетрусів на окремих сейсмічно активних територіях Земної кулі залежно від рівня сейсмічної активності Земної кулі лягли в основу удосконалення процедури підтримання ухвалення антикризових рішень на виконання структурними підрозділами системи цивільного захисту задач за призначенням щодо мінімізації наслідків геофізичних надзвичайних ситуацій.

Інформаційно-технічна реалізація результатів моделювання ймовірностей виникнення землетрусів на окремих сейсмічно активних територіях Земної кулі залежно від рівня її сейсмічної активності в інтересах удосконалення процедури підтримання ухвалення антикризових рішень на виконання структурними підрозділами системи цивільного захисту задач за призначенням щодо мінімізації наслідків геофізичних НС передбачає відповідно до рис. 6 комплексне виконання в системі єдиного часу таких п’яти функцій.

1. Безперервний глобальний моніторинг рівня сейсмічної активності Земної кулі. Інформація від Глобальної системи сейсмічного моніторингу у реальному масштабі часу щодо загальної кількості землетрусів ($N_\Sigma(t)$) та значення градієнту зміни цього параметра в часі ($\frac{dN_\Sigma(t)}{dt}$) надходить до підсистеми підтримання ухвалення антикризових рішень ситуаційного центру.

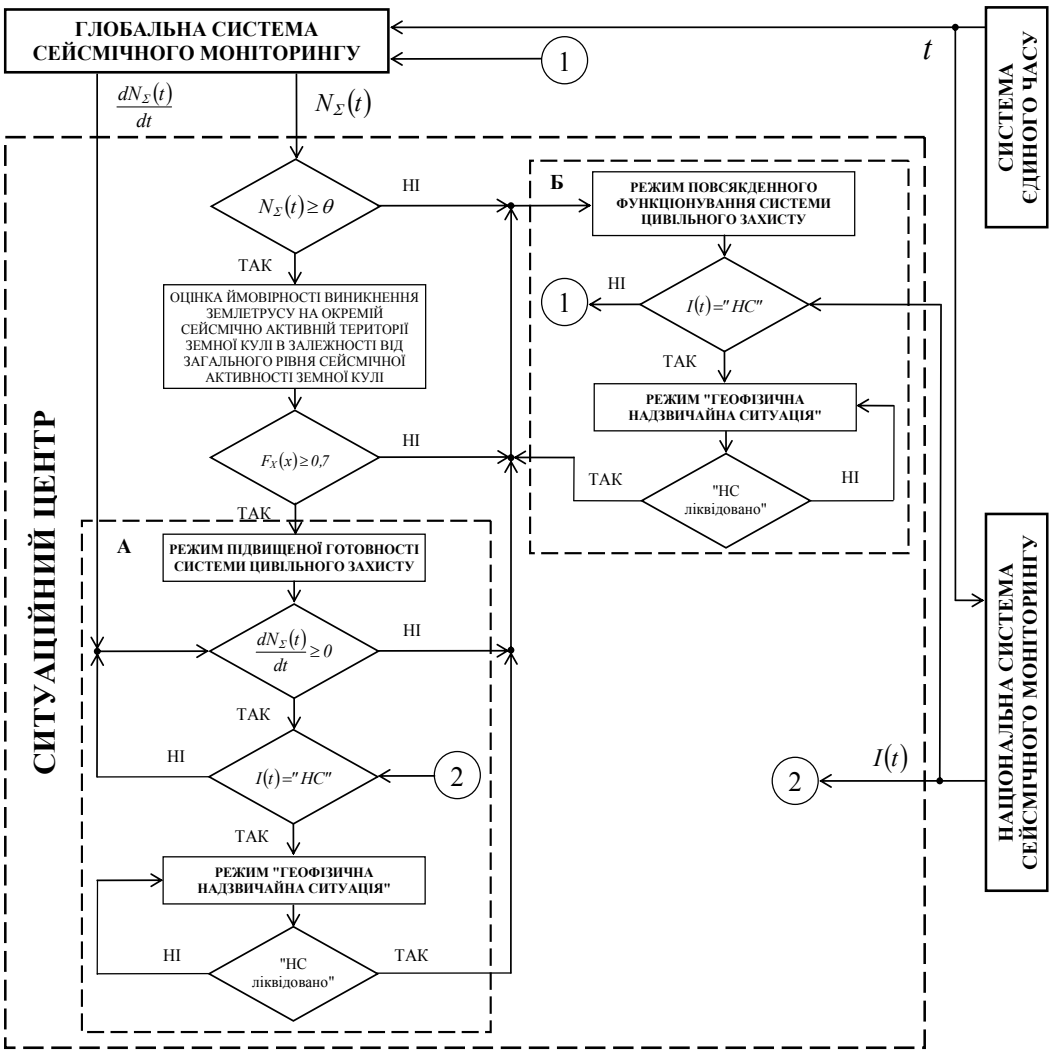

Рисунок 6 – Процедура підтримання ухвалення антикризових рішень на виконання структурними підрозділами системи цивільного захисту задач за призначенням щодо мінімізації наслідків геофізичних надзвичайних ситуацій

2. Безперервний моніторинг сейсмічної активності окремої території Земної кулі. Інформація про виникнення землетрусу ($I(t)$) залежно від окремої території, що контролюється, у реальному масштабі часу надходить до підсистеми підтримання ухвалення антикризових рішень ситуаційного центру від Національної системи сейсмічного моніторингу, яка реалізована Національною системою сейсмічного моніторингу Головного центру спеціального контролю Державного космічного агентства України, Республіканським центром сейсмологічної служби при Національній академії наук Азербайджану тощо.

3. Оцінка (за результатами моніторингових спостережень) ймовірностей виникнення землетрусів на окремих сейсмічно активних територіях Земної кулі залежно від рівня її сейсмічної активності. Реалізація підсистемою підтримання ухвалення антикризових рішень ситуаційного центру цієї процедури складається з таких етапів:

– встановлення факту перевищення загальної кількості землетрусів ($N_\Sigma(t)$), значення порогу θ, що має характеристичне значення для кожної окремої сейсмічно активної території Земної кулі (див. рис. 5);

– оцінка у реальному масштабі часу ймовірності виникнення землетрусу на

окремій сейсмічно активній території Земної кулі залежно від рівня її сейсмічної активності. Особливості реалізації цієї процедури наведено на рис. 7;

– встановлення факту перевищення ймовірності виникнення землетрусу на окремій сейсмічно активній території Земної кулі щодо рівня порогу. Автори запропонували значення цього порогу згідно з рис. 6 на рівні $F_X(x) \geq 0{,}7$, але воно може змінюватись залежно від вибору окремої сейсмічно активної території Земної кулі, де відповідний рівень безпеки життєдіяльності забезпечує наведена на рис. 1 геоінформаційна система безпеки від геофізичних НС, та є предметом окремих наукових досліджень.

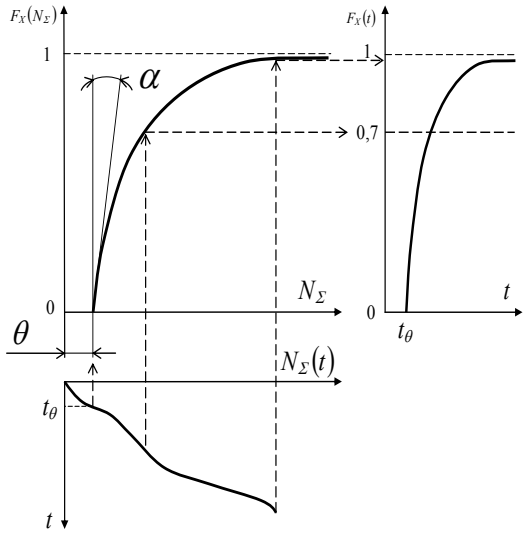

Рисунок 7 – Процедура оцінки ймовірності виникнення землетрусу на окремій сейсмічно активній території Земної кулі залежно від зміни в часі рівня її сейсмічної активності

4. Реалізація на окремій сейсмічно активній території Земної кулі (за результатами оцінки ймовірності виникнення на цій території землетрусу) режиму підвищеної готовності системи цивільного захисту. У разі встановлення цього режиму:

– здійснюється оповіщення органів влади, силових структур, комунальних та інших служб, а також населення про загрозу виникнення геофізичної НС та інформування його про дії у можливій зоні геофізичної НС;

– посилюється спостереження та контроль за сейсмічною та гідрометеорологічною обстановками, ситуацією на потенційно небезпечних об'єктах, на території об'єктів підвищеної небезпеки та/або за їх межами, на території, на якій є загроза виникнення геологічних, гідрогеологічних явищ і процесів, а також здійснюється постійна оцінка можливості виникнення геофізичної НС та її масштабів;

– уточнюються плани реагування на геофізичну НС;

– уточнюються і здійснюються заходи щодо захисту населення та територій від можливої геофізичної НС;

– приводяться у повну готовність наявні сили та засоби.

Термін встановлення режиму підвищеної готовності для системи цивільного захисту на окремій сейсмічно активній території Земної кулі визначається такими факторами:

– виникнення землетрусу ($I(t) = "HC"$);

– градієнт зміни загальної кількості землетрусів на Земній кулі у часі стає $\frac{dN_\Sigma(t)}{dt} < 0$.

5. Реалізація на окремій сейсмічно активній території Земної кулі (за результатами безперервного моніторингу її сейсмічної активності) режиму «Геофізична надзвичайна ситуація». У разі виникнення геофізичної НС:

– здійснюється оповіщення органів влади, силових структур, комунальних та інших служб, а також населення про землетрус та інформування його про дії в умовах такої ситуації;

– призначається керівник робіт із ліквідації геофізичної НС та утворюється у разі потреби спеціальна комісія з ліквідації наслідків землетрусу;

– визначається зона враження від геофізичної НС;

– здійснюється постійне прогнозування зони можливого поширення наслідків землетрусу;

– організовуються роботи з локалізації й ліквідації наслідків землетрусу, залучаються для цього необхідні сили та засоби (розвідка; вилучення людей з-під завалів, а також порятунок людей з напівзруйнованих і палаючих будівель; локалізація та ліквідація аварій у комунальних та енергетичних мережах; обвалення або зміцнення нестійких конструкцій будівель і споруд тощо);

– організовуються та здійснюються заходи щодо життєзабезпечення постраждалого населення (обладнуються пункти харчування та водопостачання; організовується комендантська служба тощо);

– організовуються та здійснюються евакуаційні заходи (обладнуються пункти збору постраждалих; обладнуються медичні пункти тощо);

– здійснюється безперервний контроль за обстановкою на потенційно небезпечних об’єктах, об’єктах підвищеної небезпеки, об’єктах радіаційної, хімічної та біологічної небезпеки і прилеглих до них територіях;

– організується безперервне у реальному масштабі часу інформування органів влади, органів управління силових структур, органів управління комунальних та інших служб і населення про обстановку в зоні ураження від землетрусу, а також про можливий каскадний розвиток НС різного походження від землетрусу, поширення їх наслідків і заходи, що здійснюються для їх локалізації та ліквідації.

Особливістю функціонування наведеної на рис. 6 схеми щодо реалізації процедури підтримання ухвалення антикризових рішень на виконання структурними підрозділами системи цивільного захисту задач за призначенням, які спрямовані на мінімізацію наслідків геофізичних НС, є блоки А і Б.

Блок А функціонує в умовах, коли спостерігається збільшення сейсмічної активності Земної кулі, а відповідно збільшення ймовірності виникнення землетрусу на окремій сейсмічно активній території Земної кулі ($F_X(x) \geq 0{,}7$) та перехід системи цивільного захисту в режим підвищеної готовності.

Завершення роботи блоку А зумовлено такими умовами:

а) завершення процесу ліквідації наслідків землетрусу;

б) спостерігається стабільне зменшення загальної кількості землетрусів на Земній кулі ($\frac{dN_{\Sigma}(t)}{dt} < 0$).

У цих випадках відбувається перехід до блоку Б, де спостерігається перехід системи цивільного захисту до режиму повсякденного функціонування.

Блок Б функціонує в умовах виникнення землетрусу у разі повсякденного функціонування системи цивільного захисту до завершення процесу ліквідації наслідків землетрусу.

Висновки та напрями подальших досліджень. 1. Розроблено ймовірнісну математичну модель оцінки можливості виникнення землетрусів магнітудою ≥ 5 на окремій сейсмічно активній території Земної кулі залежно від рівня її сейсмічної активності. Розроблена модель базується на уявленнях про динаміку фізичних процесів, які відбуваються в системі нелінійних енергетичних взаємодій Сонце – Земля – Місяць та впливають на рівень сейсмічної активності окремої сейсмічно активної території Земної кулі. Як вхідні дані щодо визначеності параметрів розподілу Парето використані результати спостережень Головного центру спеціального контролю Державного космічного агентства України

за рівнем сейсмічної активності Земної кулі за період 2009–2021 рр. За результатами моделювання отримані аналітичні вирази функцій розподілу ймовірностей виникнення землетрусів у районі Японських островів (територія з відносно високим ступенем сейсмічної активності), на території Азербайджану (територія з відносно середнім ступенем сейсмічної активності) та в районі гір Вранча (територія Румунії з відносно низьким ступенем сейсмічної активності, але ця територія становить сейсмічну небезпеку для території України) залежно від рівня сейсмічної активності Земної кулі.

2. Відповідно до розробленої ймовірнісної математичної моделі оцінки можливості виникнення землетрусів магнітудою ≥ 5 на окремій сейсмічно активній території Земної кулі залежно від рівня її сейсмічної активності удосконалено процедуру підтримання ухвалення антикризових рішень (особливістю реалізації якої є створення ситуаційних центрів) на виконання структурними підрозділами системи цивільного захисту задач за призначенням, які спрямовані на мінімізацію наслідків геофізичних надзвичайних ситуацій. Інформаційно-технічна реалізація розробленої математичної моделі в інтересах удосконалення процедури підтримання ухвалення антикризових рішень передбачає комплексне виконання в системі єдиного часу таких п’яти функцій: 1) безперервний глобальний моніторинг рівня сейсмічної активності Земної кулі; 2) безперервний моніторинг сейсмічної активності окремої території Земної кулі; 3) оцінка (за результатами моніторингових спостережень) ймовірностей виникнення землетрусів на окремих сейсмічно активних територіях Земної кулі залежно від рівня її сейсмічної активності; 4) реалізація на окремій сейсмічно активній території Земної кулі (за результатами оцінки ймовірності виникнення на цій території землетрусу) режиму підвищеної готовності системи цивільного захисту; 5) реалізація на окремій сейсмічно активній території Земної кулі (за результатами безперервного моніторингу її сейсмічної активності) режиму «Геофізична надзвичайна ситуація».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Десять найпотужніших землетрусів XX і XXI століть. *Надзвичайні новини :* вебсайт. URL : https://nnovosti.info/articles/desjat_najpotuzhnishih_zemletrusiv_xx_i_xxi_stolit-36.html (дата звернення : 01.10.2022).
2. Найпотужніші землетрусу XXI століття. *Geograf* : вебсайт. URL : http://www.geograf.com.ua/worldnews/1270-najpotuzhnishi-zemletrusu-xxi-stolittya (дата звернення : 01.10.2022).
3. 7 найбільш руйнівних землетрусів 21-го століття. *MAPME CLUB* : вебсайт. URL : http://mapme.club/poradi/5097-7-najbilsh-rujnivnix-zemletrusiv-21-go-stolittya.html (дата звернення : 01.10.2022).
4. Черногор Л. Ф. Физика и экология катастроф. Харьков: Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, 2012. 556 с.
5. Chernogor L. F. Geomagnetic Disturbances Accompanying the Great Japanese Earthquake of March 11, 2011. *Geomagnetism and Aeronomy*. 2019. Vol. 59 № 1 P. 62–75.
6. Chernogor L. F. Possible Generation of Quasi-Periodic Magnetic Precursors of Earthquakes. *Geomagnetism and Aeronomy*. 2019. Vol. 59. № 3. P. 374–382.
7. Андронов В. А., Дівізінюк М. М., Калугін В. Д., Тютюник В. В. Науково-конструкторські основи створення комплексної системи моніторингу надзвичайних ситуацій в Україні : монографія. Харків : Національний університет цивільного захисту України, 2016. 319 с.
8. Тютюник В. В., Черногор Л. Ф., Калугин В. Д., Агазаде Т. Х. Развитие основ геоинформационных систем мониторинга чрезвычайных ситуаций тектонического происхождения. *Прикладна радіоелектроніка*. 2019. Т. 18. Вип. 1, 2. С. 52–65.
9. Тютюник В. В., Калугін В. Д., Писклакова О. О. Основоположні принципи створення у Єдиній державній системі цивільного захисту інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами попередження й локалізації наслідків надзвичайних ситуацій. *Системи управління, навігації та зв’язку*. 2018. Вип. 4 (50). С. 168–177.
10. Тютюник В. В., Калугін В. Д., Писклакова О. О. Управлінські основи створення у Єдиній державній системі цивільного захисту інформаційно-аналітичної підсистеми управління процесами попередження й локалізації наслідків надзвичайних ситуацій. *Вісник національного університету цивільного захисту України. Серія «Державне управління».* Харків: Національний університет цивільного захисту України. 2020. Вип. 1 (12). С. 546–571.
11. Тютюник В. В., Чорногор Л. Ф., Калугін В. Д., Агазаде Т. Х. Інформаційно-технічний метод моніторингу та прогнозування рівня сейсмічної небезпеки локальної території Земної кулі. *Системи обробки інформації*. 2020. Вип. 2 (161). С. 99–113.
12. Глобальна Мережа Прогнозування Землетрусів : офіційний сайт. URL : http://seismonet.org/index.htm (дата звернення : 01.10.2022).

13. Міжнародний консорціум сейсмологічних інститутів (IRIS) : офіційний сайт. URL : https://www.iris.edu/hq/ (дата звернення : 01.10.2022).
14. US Geological Survey, National Earthquake Information Center. : website. URL : http://www.earthquake.usgs.gov (дата звернення : 11.10.2022).
15. Національний центр даних США (USNDC, Флорида, США) : офіційний сайт. URL : http://www.usndcorps.org (дата звернення : 11.10.2022).
16. Європейський середземноморський сейсмологічний центр. (EMSC, Париж, Франція) : офіційний сайт. URL : http://www.kndc.kz/ (дата звернення : 11.10.2022).
17. Міжнародний сейсмологічний центр (ISC, Англія) : офіційний сайт. URL : http://www.isc.ac.uk/ (дата звернення : 11.10.2022).
18. Центр вивчення Землі Німеччини (GFZ, Потсдам, Німеччина) : офіційний сайт. URL : https://www.gfz-potsdam.de/ (дата звернення : 11.10.2022).
19. Норвезький сейсмологічний центр (NORSAR) : офіційний сайт. URL : https://www.norsar.no/ (дата звернення : 11.10.2022).
20. Natal'in A. The Tectonic Evolution of Asia. *Cambridge University press*. 2001. p.486–638.
21. В СНГ создадут межгосударственную систему космического мониторинга ЧС. *ИТАР-ТАСС* : вебсайт. URL : http://itar-tass.com/nauka/1529312 (дата звернення : 21.10.2022).
22. Казахстанський національний центр даних : офіційний сайт. URL : http://www.kndc.kz/ (дата звернення : 21.10.2022).
23. Республіканський Центр Сейсмологічної Служби при Національній Академії Наук Азербайджану : офіційний сайт. URL : http://www.seismology.az/ (дата звернення : 21.10.2022).
24. Головний центр спеціального контролю Національного Космічного агентства України : вебсайт. URL : http://www.nkau.gov.ua/nsau/catalogNEW.nsf/0/62c5d33f313fc56bc2256f69 0055f574!OpenDocument&Lang=U&Click= (дата звернення : 21.10.2022).
25. Кодекс цивільного захисту України від 2.10.2012 р. № 5403-VI. *Голос України.* 2012. Листопад (№ 220(5470)). С. 4–20.
26. Міністерство з надзвичайних ситуацій Азербайджанської республіки : офіційний сайт. URL : https://www.fhn.gov.az/index.php?eng (дата звернення : 21.10.2022).
27. Морозов А. А., Ященко В. А. Ситуационные центры. Информационные технологии будущего : новая информационная технология : монография. К. : Интертехнодрук, 2008. 332 с.
28. Гуфельд И. Л. Сейсмический процесс. Физико-химические аспекты. М. : ЦНИИМаш, 2007. 160 с.
29. Березняков А. І., Нємець К. А. Фізика Землі. Харків : Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, 2010. 268 с.
30. Пупков К. А., Као Динь Чонг. Применение нейросетевых технологий в задачах прогнозирования землетрясений (на примере северо-западного района Вьетнама). *Вестник МГТУ имени Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение».* 2012. № 2. С. 70–78.
31. Rogozhin E. A., Rodina S. N. Paleoseismic studies and the long-term seismic regime in the North of Sakhalin Island. *Seismic Instruments*. 2012. № 48 (4). P. 333–341.
32. Родкин М. В., Шатахцян А. Р. Статистический анализ данных по крупным и суперкрупным месторождениям : эмпирические закономерности и интерпретация. *Геоинформатика.* 2013. № 4. С. 25–32.
33. Rhodes C. J., Anderson R. M. Power laws governing epidemics in isolated populations. *Nature.* 1996. V. 381. P. 600–602.
34. Bak P. How nature works : the science of self-organized criticality. Springer-Verlad New York, Inc. 1996. 205 p.
35. Turcotte D. Fractals and Chaos in Geology and Geophysics. Cambridge Univ. Press. 1997. 398 p.
36. Яковлева И. А., Панина Е. А., Малежик А. В. Применение распределения Парето в задачах оценки вероятности возникновения аварий на химических предприятиях. *Проблеми надзвичайних ситуацій.* 2007. Вип. 5. С. 216–221.
37. Rodkin M.V., Pisarenko V. F., Ngo Thi Lu, Rukavishnikova T. A. On potential representations of the distribution law of rare strongest earthquakes. *Geodynamics & Tectonophysics*. 2014. № 5(4). P. 893–904.
38. Тютюник В. В., Черногор Л. Ф., Калугин В. Д., Агазаде Т. Х. Оценка влияния энергетических эффектов в системе Солнце–Земля–Луна на уровень сейсмической активности территории земного шара. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2017. Вип.6 (46). С. 238–246.
39. Тютюник В. В., Черногор Л. Ф., Калугин В. Д., Агазаде Т. Х. Оценка динамических и энергетических эффектов на планете Земля и влияние их на соотношение между уровнями сейсмической активности полушарий Земного шара. *Науковий вісник : Цивільний захист та пожежна безпека.* 2017. № 2(4). С. 101–117.
40. Тютюник В. В., Черногор Л. Ф., Калугин В. Д., Агазаде Т. Х. Оценка влияния вариаций скорости осевого вращения Земли на уровень сейсмической активности локальных территорий. *GEOINFORMATIKA*. 2018. №3 (67). С. 36–48.
41. Vadym Tiutiunyk, Vladimir Kalugin, Olha Pysklakova, Olexandr Yaschenko, Tural Agazade. Hierarchical clustering of seismic activity local territories. Globe / EUREKA : *Physics and Engineering*. 2019. №4. P. 41–53.

REFERENCES

1. Desiat naipotuzhnishykh zemletrusiv XX i XXI stolit [Ten most powerful earthquakes of the 20th and 21st centuries]. *Nadzvychaini novyny: vebsait.* Retrieved from https://nnovosti.info/articles/desjat_najpotuzhnishih_zemletrusiv_xx_i_xxi_stolit-36.html [in Ukrainian].
2. Naipotuzhnishi zemletrusu XXI stolittia [The most powerful earthquakes of the XXI century]. *Geograf*: vebsait. Retrieved from http://www.geograf.com.ua/wor ldnews/1270-najpotuzhnishi-zemletrusu-xxi-stolittya [in Ukrainian].
3. 7 najbiljsh rujnivnykh zemletrusiv 21-gho stolittja [7 most destructive earthquakes of the 21st century]. *MAPME CLUB*: vebsait. Retrieved from http://mapme.club/poradi/5097-7-najbilsh-rujnivnix-zemletrusiv-21-go-stolittya.html [in Ukrainian].
4. Chernogor, L. F. (2012). *Fizika i ekologiya katastrof* [Fyzyka y эkolohyia katastrof]. Khar'kov: Khar'kovskiy natsional'nyy universitet imeni V.N. Karazina [in English].
5. Chernogor, L. F. (2019). Geomagnetic Disturbances Accompanying the Great Japanese Earthquake of March 11, 2011. Geomagnetism and Aeronomy. 59 (1), 62–75. [in English].
6. Chernogor, L. F. (2019). Possible Generation of Quasi-Periodic Magnetic Precursors of Earthquakes. Geomagnetism and Aeronomy, 59 (3), 374–382. [in English].

7. Andronov, V. A., Divizinjuk, M. M., Kalughin, V. D., Tiutiunyk, V. V. (2016). Naukovo-konstruktorsjki osnovy stvorennja kompleksnoji systemy monitorynghu nadzvychajnykh sytuacij v Ukrajini [Scientific and design foundations of the creation of a comprehensive emergency monitoring system in Ukraine]. Kharkiv: Nacionaljnyj universytet cyviljnogho zakhystu Ukrajiny [in Ukrainian].
8. Tiutiunyk, V. V., Chernogor, L. F., Kalugin, V. D., Agazade, T. Kh. (2019). Razvitie osnov geoinformatsionnykh sistem monitoringa chrezvychaynykh situatsiy tekto-nicheskogo proiskhozhdeniya [Development of the basics of geoinformation systems for monitoring emergency situations of tectonic origin]. *Prikladna radioelektronika,* 18 (1,2), 52–65. [in Ukrainian].
9. Tiutiunyk, V. V., Kalugin, V. D., Pysklakova, O. O. (2018). Osnovopolozhni pryncypy stvorennja u Jedynij derzhavnij systemi cyviljnogho zakhystu informacijno-analitychnoji pidsystemy upravlinnja procesamy poperedzhennja j lokalizaciji naslidkiv nadzvychajnykh sytuacij [The fundamental principles of the creation of an information and analytical subsystem in the Unified State Civil Protection System for managing the processes of prevention and localization of the consequences of emergency situations]. *Systemy upravlinnja, navighaciji ta zv'jazku*, 4 (50), 168–177. [in Ukrainian].
10. Tiutiunyk, V. V., Kalugin, V. D., Pysklakova, O. O. (2020). Upravlinsjki osnovy stvorennja u Jedynij derzhavnij systemi cyviljnogho zakhystu informacijno-analitychnoji pidsystemy upravlinnja procesamy poperedzhennja j lokalizaciji naslidkiv nadzvychajnykh sytuacij [Administrative foundations of the creation of an information and analytical subsystem of the management of the processes of prevention and localization of the consequences of emergency situations in the Unified State Civil Protection System]. *Visnyk nacionaljnogho universytetu cyviljnogho zakhystu Ukrajiny. Serija «Derzhavne upravlinnja»,* 1 (12), 546–571. [in Ukrainian].
11. Tiutiunyk, V. V., Chernogor, L. F., Kalugin, V. D., Agazade, T. Kh. (2020). Informacijno-tekhnichnyj metod monitorynghu ta proghnozuvannja rivnja sejsmichnoji nebezpeky lokaljnoji terytoriji Zemnoji kuli. *Systemy obrobky informaciji*, 2 (161), 99–113. [in Ukrainian].
12. Oficijnyj sajt Ghlobaljnoji Merezhi Proghnozuvannja Zemletrusiv [Global Earthquake Prediction Network]. Retrieved from http://seismonet.org/index.htm [in Ukrainian].
13. Oficijnyj sajt Mizhnarodnogho konsorciumu sejsmologhichnykh instytutiv (IRIS) [International Consortium of Seismological Institutes]. Retrieved from https://www.iris.edu/hq/ [in Ukrainian].
14. US Geological Survey, National Earthquake Information Center. Retrieved from http://www.earthquake.usgs.gov [in English].
15. Oficijnyj sajt Nacionaljnogho centru danykh SShA (USNDC, Floryda, SShA) [US National Data Center (USNDC, Florida, USA)]. Retrieved from www.usndcorps.org [in Ukrainian].
16. Oficijnyj sajt Jevropejsjkogho seredzemnomorsjkogho sejsmologhichnogho centru (EMSC, Paryzh, Francija) [European Mediterranean Seismological Center]. Retrieved from http://www.kndc.kz/ [in Ukrainian].
17. Oficijnyj sajt Mizhnarodnogho sejsmologhichnogho centru (ISC, Anghlija) [International Seismological Center]. Retrieved from http://www.isc.ac.uk/ [in Ukrainian].
18. Oficijnyj sajt Centru vyvchennja Zemli Nimechchyny (GFZ, Potsdam, Nimechchyna) [Center for the Study of the Land of Germany]. Retrieved from https://www.gfz-potsdam.de/ [in Ukrainian].
19. Oficijnyj sajt Norvezjkogho sejsmologhichnogho centru (NORSAR) [Norwegian Seismological Center]. Retrieved from https://www.norsar.no/ [in Ukrainian].
20. Natal'in, A. (2001). The Tectonic Evolution of Asia. Cambridge University press, 486-638.[in English].
21. V SNG sozdadut mezhgosudarstvennuyu sistemu kosmicheskogo moni-toringa ChS [Norwegian Seismological Center]. Retrieved from http://itar-tass.com/nauka/1529312 [in Russian].
22. Oficijnyj sajt Kazakhstansjkogho nacionaljnogho centru danykh [Kazakhstan National Data Center]. Retrieved from http://www.kndc.kz/ [in Ukrainian].
23. Oficijnyj sajt Respublikansjkogho Centru Sejsmologhichnoji Sluzhby pry Nacionaljnij Akademiji Nauk Azerbajdzhanu [Republican Center of Seismological Service at the National Academy of Sciences of Azerbaijan]. Retrieved from http://www.seismology.az/ [in Ukrainian].
24. Internet-sajt Gholovnogho centru specialjnogho kontrolju Nacionaljnogho Kosmichnogho aghentstva Ukrajiny [The main center of special control of the National Space Agency of Ukraine]. Retrieved from http://www.nkau.gov.ua/nsau/catalogNEW.nsf/0/62c5d33f313fc56bc2256f690055f574!OpenDocument&Lang=U&Click= [in Ukrainian].
25. Code of Civil Protection of Ukraine from October 2 2012, № 5403-VI. (November (№ 220(5470)). *Gholos Ukrajiny*, 4–20. [in Ukrainian].
26. Oficijnyj sajt Ministerstva z nadzvychajnykh sytuacij Azerbajdzhansjkoji respubliky [Ministry of Emergency Situations of the Republic of Azerbaijan]. Retrieved from https://www.fhn.gov.az/index.php?eng [in Ukrainian].
27. Morozov, A. A., Yashchenko, V. A. (2008). *Situational centers. Information Technology of the Future: New Information Technology* [Situation centers. Information technologies of the future: new information technology]. K. Intertekhnodruk [in Russian].
28. Gufel'd, I. L. (2007). Seysmicheskiy protsess. Fiziko-khimicheskie aspekty [Seismic process. Physical and chemical aspects]. M.O. TsNIIMash. [in Russian].
29. Bereznyakov, A. I., Nyemecz, K. A. (2010). *Fizyka Zemli* [Physics of the Earth]. Khar'kov, Khar'kovskiy natsional'nyy universitet im. V.N. Karazina [in Ukrainian].
30. Pupkov, K. A., Chong Kao Din. (2012). Primenenie neyrosetevykh tekhnologiy v zadachakh prognozirovaniya zemletryaseniy (na primere severo-zapadnogo rayona V'etnama) [Application of Neural Network Technologies in Problems of Earthquake Prediction]. *Vestnik MGTU imeni N.E. Baumana. Ser. «Pribo-rostroenie»*, 2, 70–78. [in Russian].
31. Rogozhin, E. A., Rodina, S. N. (2012). Paleoseismic studies and the long-term seismic regime in the North of Sakhalin Island. Seismic Instruments, 48 (4), 333–341. [in English].
32. Rodkin, M. V., Shatakhtsyan, A. R. (2013). Statistical analysis of catalogs of large and superlarge ore deposits: empirical regularities and their interpretation [Statistical analysis of data on large and super-large fields: empirical patterns and interpretation]. *Geoinformatika,* 4, 25–32. [in Russian].
33. Rhodes, C. J., Anderson, (1996). R.M. Power laws governing epidemics in isolated populations. *Nature,* 381, 600–602. [in English].
34. Bak, P. (1996). How nature works: the science of self-organized criticality. Springer-Verlad New York, Inc. [in English].
35. Turcotte, D. (1997). Fractals and Chaos in Geology and Geophysics. Cambridge Univ. Press. [in English].

36. Yakovleva, I. A., Panina, E. A., Malezhik, A. V. (2007). Primenenie raspredele-niya Pareto v zadachakh otsenki veroyatnosti vozniknoveniya avariy na khimicheskikh predpriyatiyakh [Application of the Pareto distribution in problems of assessing the probability of accidents at chemical plants]. *Problemy nadzvychajnykh sytuacij*, 5. 216–221. [in Russian].
37. Rodkin, M. V., Pisarenko, V. F., Ngo Thi Lu, Rukavishnikova, T. A. (2014). On potential representations of the distribution law of rare strongest earthquakes. *Geodynamics & Tectonophysics*, 5 (4), 893–904. [in English].
38. Tiutiunyk, V. V., Chernogor, L. F., Kalugin, V. D., Agazade, T. Kh. (2017). Otsenka vliyaniya energeticheskikh effektov v sisteme Solntse–Zemlya–Luna na uroven' seysmicheskoy aktivnosti territorii zemnogo shara [Estimation of the influence of energy effects in the Sun–Earth–Moon system on the level of seismic activity in the territory of the globe]. *Systemy upravlinnja, navighaciji ta zv'jazku,* 6 (46), 238–246. [in Ukrainian].
39. Tiutiunyk, V. V., Chernogor, L. F., Kalugin, V. D., Agazade, T. Kh. (2017). Otsenka dinamicheskikh i energeticheskikh effektov na planete Zemlya i vliyanie ikh na sootnoshenie mezhdu urovnyami seysmicheskoy aktivnosti polushariy Zemnogo shara [Evaluation of dynamic and energy effects on the planet Earth and their influence on the ratio between the levels of seismic activity of the hemispheres of the globe]. *Naukovyj visnyk: Cyviljnyj zakhyst ta pozhezhna bezpeka*, 2 (4), 101–117. [in Ukrainian].
40. Tiutiunyk, V. V., Chernogor, L. F., Kalugin, V. D., Agazade, T. Kh. (2018). Otsenka vliyaniya variatsiy skorosti osevogo vrashcheniya Zemli na uroven' seysmicheskoy aktivnosti lokal'nykh territoriy [Estimation of the influence of variations in the speed of the axial rotation of the Earth on the level of seismic activity of local territories]. *GEOINFORMATIKA*, 3(67), 36–48. [in Russian].
41. Vadym Tiutiunyk, Vladimir Kalugin, Olha Pysklakova, Olexandr Yaschenko, Tural Agazade (2019). Hierarchical clustering of seismic activity local territories. Globe / EUREKA: *Physics and Engineering*, 4, 41–53. [in English].

FEATURES OF SUPPORTING THE ADOPTION OF ANTI-CRISIS DECISIONS IN THE CONTEXT OF GEOPHYSICAL EMERGENCIES

T. Agazade[1], V. Tiutiunyk[2], L. Chernogor[3], O. Tiutiunyk[4]

[1]State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Azerbaijan, Azerbaijan
[2]National University of Civil Defense of Ukraine, Ukraine
[3]V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine
[4]Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Ukraine

KEYWORDS:

geophysical emergency, earthquake probability, anti-crisis decision support, situation center, civil protection system, performance of tasks as intended, minimization of consequences

ANNOTATION

A probabilistic mathematical model has been developed for assessing the possibility of earthquakes of magnitude ≥ 5 in a separate seismically active territory of the Earth, depending on the level of seismic activity of the Earth. The developed model is based on ideas about the dynamics of physical processes occurring in the system of nonlinear energy interactions Sun-Earth-Moon and affecting the level of seismic activity of a separate seismically active territory of the globe. As input data regarding the determination of the parameters of the Pareto distribution, the results of observations of the Main Center for Special Control of the State Space Agency of Ukraine over the level of seismic activity of the Earth in the period 2009–2021 were used. The simulation results formed the basis for improving the functioning of situational centers regarding the procedure for supporting the adoption of anti-crisis decisions for the implementation of the tasks by the structural units of the civil protection system, aimed at minimizing the consequences of geophysical emergencies. Information and technical implementation of the developed mathematical model in the interests of improving the procedure for supporting the adoption of anti-crisis decisions provides for the integrated implementation of the following five functions in the single time system: 1) continuous global monitoring of the level of seismic activity of the Earth; 2) continuous monitoring of seismic activity of a separate territory of the globe; 3) assessment, based on the results of monitoring observations, the probability of earthquakes in a separate seismically active territory of the globe, depending on the level of seismic activity of the globe; 4) implementation in a separate seismically active territory of the globe, based on the results of assessing the probability of an earthquake occurring in this territory, of a high alert mode of the civil protection system; 5) implementation on a separate seismically active territory of the Earth, based on the results of continuous monitoring of its seismic activity, of the «Geophysical emergency» mode.